

П.А. КАЧАНОВ, д.т.н., проф., **А.А. ЗУЕВ** (г. Харьков)

КОМПРЕССИЯ ПОЛЕЙ ВЫСОТ ПРИ ПОМОЩИ ПОЛИНОМОВ

У статті розглянутий метод зменшення об'єму пам'яті, яку займає поле висот, за допомогою кодування поліномами. Запропонований набір поліномів для компресії поля висот. Проведено дослідження величин середньої і максимальної похибок кодування.

Method of diminishing memory which is occupied by the height field is considered in article, through encoding polynomials. The set of polynomials is offered for the height field compression. Research of average and maximal errors of encoding is conducted.

Применение средств компьютерной графики для синтеза окружающей обстановки, которая максимально приближена к реальности - позволяет оператору транспортного средства приобрести необходимые навыки управления, без значительных материальных затрат и износа дорогостоящей техники. Основной частью для тренажерных комплексов наземной техники является моделирование ландшафта [1, 2], с высокой точностью. Моделирование позволяет имитировать сложные условия управления транспортным средством.

В настоящее время существуют различные методики хранения данных описывающих ландшафт, из которых поля высот [3] представляют наибольший интерес для тренажеров наземной техники, вследствие высокой скорости вычисления высоты в заданной точке и простоты синтеза таких полей автоматизированным способом. Основным недостатком полей высот, является большой объем памяти необходимый для их хранения.

В статье рассмотрена модификация метода компрессии поля высот при помощи полиномов, что позволяет в четыре раза уменьшить объем памяти, занимаемой полем высот. Основной идеей метода является поблочное преобразование высот поля h_i в кодированную форму h_i^C , согласно выражению

$$\begin{aligned} h_0^C &= h_{\min} + h_s, \quad h_1^C = 0,66 \cdot h_{\min} + 0,33 \cdot h_{\max}, \\ h_2^C &= 0,33 \cdot h_{\min} + 0,66 \cdot h_{\max}, \quad h_3^C = h_{\max} - h_s, \end{aligned} \quad (1)$$

где h_{\min}, h_{\max} – минимальная и максимальная высота в блоке; $h_s = 0,125 \cdot \Delta h$, где $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$.

Очевидно, что при помощи выражения (1) с наименьшей ошибкой будут кодироваться блоки, содержащие относительно плавный переход высот от минимума к максимуму, например как показанный на рис. 1.

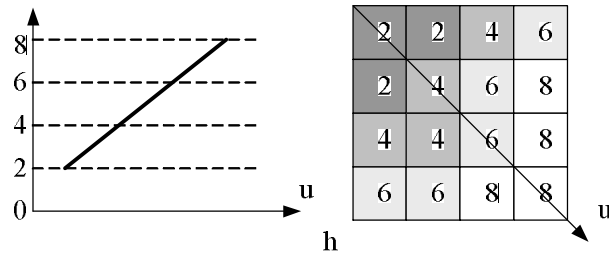


Рис. 1. Пример блока высот кодируемого с наименьшей ошибкой

Такое линейное распределение высот внутри блока для реальных ландшафтов встречается относительно редко, поэтому для уменьшения ошибки желательно кодировать каждый блок наиболее подходящим полиномом. Для задания индивидуального полинома для блока необходимо изменить формат последнего и алгоритм вычисления высот таким образом, чтобы появилась возможность хранения номера полинома i , используемого при кодировании блока. Полиномы $f_i(j)$ будут храниться в отдельной таблице, уникальной для каждого ландшафта. Каждый полином состоит из четырех коэффициентов, используемых для вычисления соответствующей опорной высоты.

Для задания одной высоты ландшафта характерного для холмистой и равнинной местности достаточно использовать 12-ти битное представление высоты. При кодировании блока, сохраняется минимальная высота с точностью 12 бит и разность между максимальной и минимальной высотой Δh с точностью 12 бит. Номер полинома используемого для кодирования и восстановления высот блока сохраним с точностью 8 бит. На хранение каждой из кодированных высот отводится 2 бита, что в сумме будет давать 32 бита. Таким образом, блок из 16 (4x4) высот будет занимать 64 бита, против 256 без кодирования.

Рассмотрим процесс уменьшения разрядности величин h_{\min} и $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$. Для преобразования высот из 16 битного к 12 битному представлению, воспользуемся следующим выражением

$$\begin{aligned} h'_{\min} &= \lfloor h_{\min} / 2^{16-12} \rfloor, \\ \Delta h' &= \Delta h + (h_{\min} \% 2^{16-12}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\%$ – операция вычисления остатка от деления; $\lfloor \rfloor$ – операция округления к ближайшему меньшему целому числу.

Такой способ минимизирует ошибку округления, что сказывается на величине максимальной ошибки кодирования. Для такого способа кодирования значения опорных высот вычисляются следующим образом

$$h_j^c = h'_{\min} + \Delta h' \cdot f_i(j), \quad (3)$$

где i – номер полинома для интерполяции; j – номер опорной высоты; $f_i(j)$ – величина коэффициента i -го полинома для j -й высоты.

При использовании для кодирования одного полинома с коэффициентами $f_i(0)=0,125$, $f_i(1)=0,375$, $f_i(2)=0,625$, $f_i(3)=0,875$ выражение (3) эквивалентно выражению (1). При кодировании блока согласно выражению (3) сначала производится выбор наилучшего полинома – дающего наименьшую ошибку кодирования. Далее блок кодируется при помощи выбранного полинома и его номер записывается в соответствующее поле блока.

Рассмотрим три варианта ошибки кодирования блока e_k , используемой для выбора полинома, среднюю, среднеквадратическую и максимальную

$$e_1 = \frac{1}{S_b} \sum_{i=0}^{S_b-1} (h_i^o - h_i^d), \quad e_2 = \frac{1}{S_b} \sum_{i=0}^{S_b-1} (h_i^o - h_i^d)^2, \quad e_3 = \max_{i=0}^{S_b-1} (h_i^o - h_i^d), \quad (4)$$

где S_b – площадь блока в отсчетах.

Для исследования использована таблица из пяти полиномов, значения коэффициентов которых приведены в табл. 1.

Предложенная модификация алгоритма позволяет уменьшить среднюю ошибку примерно в 2,5 раза по сравнению с немодифицированным алгоритмом.

Таблица 1 – Пример полиномов для кодирования блоков

Номер полинома	Номер коэффициента			
	0	1	2	3
0	0,125	0,375	0,625	0,875
1	0,050	0,500	0,750	0,890
2	0,110	0,025	0,050	0,950
3	0,050	0,075	0,850	0,890
4	0,110	0,015	0,250	0,950

В результате исследования получены значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Характер распределения и величина ошибки кодирования

Тип ошибки для выбора полинома	Ошибка, %		Ошибка, см		Площадь поля высот, ошибка кодирования на которой не превышает 5 см, %
	Средняя	Максимальная	Средняя	Максимальная	
Средняя	0,036	1,108	3,58	110,78	76,14
Средне-квадратичная	0,037	0,964	3,67	96,44	75,24
Максимальная	0,041	0,621	4,13	61,19	68,42

Из таблицы видно, что наиболее подходящим для выбора полинома является критерий максимальной ошибки, который при снижении на 10% площади максимально точно восстановленного поля высот (ошибка менее 5 см) в 2 раза снижает величину максимальной ошибки.

По результатам исследования распределения ошибок установлено, что подавляющее большинство ошибок (более 90%) сосредоточены в малых значений. Количество ошибок близких к максимальному значению менее 0,1 %.

Список литературы: 1. Balmelli Laurent, Ayer Serge, and Vetterli Martin. Efficient algorithms for embedded rendering of terrain models. In Proceedings IEEE ICIP 98, pages 914–918, 1998. 2. Balog Andras. Real-time visualization of detailed terrain// Konzulens, Rajacsics Tamas, Budapest, 2003. 3. Roettger S., Heidrich W., Slussallek P., Seidel H.P.: Real-Time Generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields, Proc. 6th Int. Conf. in Central Europe on Computer Graphics and Visualization, pp. 315-322, 1998.

Поступила в редколлегию 20.11.07